

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**





IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of : **Confirmation No. 5148**

Marc ROBELET : **Docket No. 2003-1744A**

Serial No. 10/725,568 : **Group Art Unit 1742**

Filed December 3, 2003 :

STEEL FOR MECHANICAL CON-  
STRUCTION, METHOD OF HOT-SHAPING  
OF A PART FROM THIS STEEL, AND PART  
THUS OBTAINED

**CLAIM OF PRIORITY UNDER 35 USC 119**

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

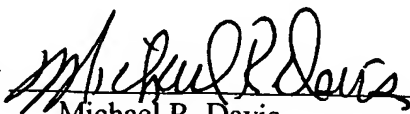
Applicant in the above-entitled application hereby claims the date of priority under the International Convention of French Patent Application No. 02 15380, filed December 5, 2002, as acknowledged in the Declaration of this application.

A certified copy of said French Patent Application is submitted herewith.

Respectfully submitted,

Marc ROBELET

THE COMMISSIONER IS AUTHORIZED  
TO CHARGE ANY DEFICIENCY IN THE  
FEES FOR THIS PAPER TO DEPOSIT  
ACCOUNT NO. 23-0975

By   
Michael R. Davis  
Registration No. 25,134  
Attorney for Applicant

MRD/kes  
Washington, D.C. 20006-1021  
Telephone (202) 721-8200  
Facsimile (202) 721-8250  
April 21, 2004





# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

### COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 26 NOV. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
[www.inpi.fr](http://www.inpi.fr)



Réservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES  
DATE

LIEU

**5 DEC 2002**

**75 INPI PARIS**

N° D'ENREGISTREMENT

**0215380**

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE

**05 DEC. 2002**

PAR L'INPI

**Vos références pour ce dossier** BFF 02/0325  
(facultatif)

**1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE**  
**À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE**

CABINET LAVOIX  
2, Place d'Estienne d'Orves  
75441 PARIS CEDEX 09

**Confirmation d'un dépôt par télécopie**

☐ N° attribué par l'INPI à la télécopie

**2 NATURE DE LA DEMANDE**

**Cochez l'une des 4 cases suivantes**

Demande de brevet

☒

Demande de certificat d'utilité

☐

Demande divisionnaire

☐

*Demande de brevet initiale*

N°

Date

*ou demande de certificat d'utilité initiale*

N°

Date

Transformation d'une demande de  
brevet européen *Demande de brevet initiale*

☐

N°

Date

**3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)**

Acier pour construction mécanique, procédé de mise en forme à chaud d'une pièce de cet  
acier, et pièce ainsi obtenue.

**4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ**  
**OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE**  
**LA DATE DE DÉPÔT D'UNE**  
**DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE**

Pays ou organisation

Date

N°

Pays ou organisation

Date

N°

Pays ou organisation

Date

N°

☐ S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»

**5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)**

☒ **Personne morale**

☐ **Personne physique**

Nom  
ou dénomination sociale

ASCOMETAL

Prénoms

Forme juridique

Société Anonyme

N° SIREN

331048132

Code APE-NAF

Domicile

Rue

ou  
siège

Code postal et ville

92400 COURBEVOIE

Pays

FRANCE

Nationalité

Française

N° de téléphone (facultatif)

N° de télécopie (facultatif)

Adresse électronique (facultatif)

☐ S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»

**BREVET D'INVENTION  
CERTIFICAT D'UTILITÉ**

**REQUÊTE EN DÉLIVRANCE**  
page 2/2

**BR2**

REMISE DES PIÈCES DATE LIEU <b>5 DEC 2002</b> <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI <b>0215380</b>		Réservé à l'INPI		DB 540 W / 010801	
<b>Vos références pour ce dossier :</b> <i>(facultatif)</i>			BFF 02/0325		
<b>6 MANDATAIRE</b> <i>(s'il y a lieu)</i> Nom Prénom Cabinet ou Société N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel Adresse Rue Code postal et ville Pays N° de téléphone <i>(facultatif)</i> N° de télécopie <i>(facultatif)</i> Adresse électronique <i>(facultatif)</i>			CABINET LAVOIX 2 Place d'Estienne d'Orves 75441 PARIS CEDEX 09 FRANCE 01 53 20 14 20 01 48 74 54 56 brevets@cabinet-lavoix.com		
<b>7 INVENTEUR (S)</b> Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes			<b>Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques</b> <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)		
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b> Établissement immédiat ou établissement différé Paiement échelonné de la redevance <i>(en deux versements)</i>			<b>Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)</b> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <b>Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt</b> <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non		
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b> Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes			<b>Uniquement pour les personnes physiques</b> <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention <i>(joindre un avis de non-imposition)</i> <input type="checkbox"/> Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention <i>(joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence)</i> : AG		
<b>10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire)			<b>VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI</b>		



L'invention concerne la sidérurgie, et plus précisément, la fabrication de pièces en acier pouvant être, notamment, utilisées en construction mécanique et mises en forme par le procédé appelé « thixoforgeage ».

5 Le thixoforgeage appartient à la catégorie des procédés de mise en forme des métaux à l'état semi-solide.

Ce procédé consiste à réaliser une déformation importante sur un lopin chauffé entre le solidus et le liquidus.

10 Les aciers utilisés pour ce procédé sont ceux classiquement utilisés pour la forge à chaud, auxquels on fait si nécessaire préalablement subir une opération métallurgique consistant à globuliser la structure primaire classiquement dendritique. En effet, cette structure primaire dendritique n'est pas adaptée aux opérations de thixoforgeage. Au cours du chauffage jusqu'à des températures comprises entre le solidus et le liquidus, la micro-ségrégation existant entre les dendrites et les espaces inter-dendritiques va entraîner la  
15 fusion de l'acier préférentiellement dans ces espaces inter-dendritiques. Lors de l'opération de mise en forme de cet enchevêtrement de liquide et de solide, la phase liquide va dans un premier temps être éjectée lors du début de l'application de l'effort. Il faudra donc déformer la phase solide et un résidu de liquide en grande partie séparé de la phase solide, ce qui entraînera une  
20 augmentation des efforts. Pour une opération de déformation dans ces conditions le résultat obtenu est mauvais : ségrégations importantes, défauts internes.

En revanche, lorsque le thixoforgeage est effectué sur un acier à structure globulaire porté à l'état semi-solide par un chauffage à une  
25 température comprise entre le liquidus et le solidus, les particules globulaires solides sont réparties de façon uniforme dans la phase liquide. En optimisant le choix de la proportion solide/liquide, on peut obtenir un matériau présentant une vitesse de déformation élevée sous l'effet d'une importante contrainte de cisaillement. Il présente donc une très haute déformabilité.

30 Il est cependant possible, dans certains cas, d'obtenir la structure globulaire désirée au cours du chauffage préalable au thixoforgeage, sans avoir recours à une opération de globulisation de la structure primaire séparée. C'est le cas, notamment, lorsqu'on opère sur des lopins issus de barres laminées provenant de blooms de coulée continue ou de lingots. Les multiples  
35 réchauffages et les déformations importantes subies par l'acier ont alors conduit à une structure très imbriquée et diffuse où une structure primaire est

pratiquement impossible à révéler. Elle permet d'obtenir une structure globulaire de la phase solide pendant le chauffage préalable au thixoforgeage.

Le thixoforgeage permet ainsi, par rapport aux procédés classiques de forgeage à chaud, de réaliser en une seule opération de déformation des  
5 pièces de géométrie complexe pouvant présenter des parois minces (1mm ou moins), et ce avec de très faibles efforts de mise en forme. En effet, sous l'action d'efforts externes, les aciers adaptés pour une opération de thixoforgeage se comportent comme des fluides visqueux.

Pour les aciers de construction mécanique, dont la teneur en carbone  
10 peut varier de 0,2% à 1,1%, la température de chauffage nécessaire à la déformation par le procédé de thixoforgeage est, par exemple, de  $1430^{\circ}\text{C} + 50^{\circ}\text{C} = 1480^{\circ}\text{C}$  pour une nuance C38 (température de solidus mesurée +  $50^{\circ}\text{C}$  pour obtenir le bon rapport phase liquide/phase solide nécessaire à la déformation) et de  $1315^{\circ}\text{C} + 50^{\circ}\text{C} = 1365^{\circ}\text{C}$  pour une nuance 100Cr6.

La température de chauffage et la quantité de phase liquide formée  
15 sont des paramètres importants du procédé de thixoforgeage. La facilité d'obtention de la « bonne » température et l'intervalle de dispersion envisageable autour de cette température pour limiter les variations de la quantité de phase liquide dépendent de l'intervalle de solidification. Plus cet  
20 intervalle est grand plus il est facile de régler les paramètres de chauffage.

Par exemple, cet intervalle de solidification est de  $110^{\circ}\text{C}$  pour une nuance C38, et de  $172^{\circ}\text{C}$  pour la nuance 100Cr6. Il est donc beaucoup plus facile de travailler avec cette dernière nuance qui présente une température de solidus basse :  $1315^{\circ}\text{C}$ , et un grand intervalle de solidification :  $172^{\circ}\text{C}$ .

Les températures de mise en forme très élevées, les vitesses de  
25 déformation importantes qui sont utilisées dans le procédé de thixoforgeage, conduisent à solliciter thermiquement les outils de déformation dans des conditions fréquemment extrêmes. Ceci conduit à utiliser pour ces outillages des alliages avec de très hautes caractéristiques mécaniques à chaud, ou des  
30 matériaux céramiques. Les difficultés de réalisation de certaines géométries ou d'outils (inserts) de volumes importants et les coûts de réalisation de ceux-ci peuvent freiner le développement du procédé de thixoforgeage.

Le but de l'invention est de proposer de nouvelles nuances d'acier  
35 mieux adaptées au thixoforgeage que celles classiquement utilisées, en ce qu'elles permettraient de réduire les sollicitations des outils de déformation. Ces nouvelles nuances ne devraient pas, par ailleurs, dégrader les propriétés mécaniques des pièces obtenues.

A cet effet, l'invention a pour objet un acier pour construction mécanique, caractérisé en ce que sa composition est, en pourcentages pondéraux :

- 5                   -  $0,35\% \leq C \leq 1,2\%$
- $0,10\% \leq Mn \leq 2,0\%$
- $0,10\% \leq Si \leq 3,0\%$
- $traces \leq Cr \leq 4,5\%$
- $traces \leq Mo \leq 2,0\%$
- $traces \leq Ni \leq 4,5\%$
- 10               -  $traces \leq V \leq 0,5\%$
- $traces \leq Cu \leq 3,5\%$  avec  $Cu \leq Ni\% + 0,6 Si\%$  si  $Cu \geq 0,5\%$
- $traces \leq P \leq 0,200$ ,  $traces \leq Bi \leq 0,200\%$ ,  $traces \leq Sn \leq 0,150\%$ ,  
 $traces \leq As \leq 0,100\%$ ,  $traces \leq Sb \leq 0,150\%$ , avec  $0,050\% \leq P\% + Bi\% + Sn\%$   
 $+ As\% + Sb\% \leq 0,200\%$ ,
- 15               -  $traces \leq Al \leq 0,060\%$
- $traces \leq Ca \leq 0,050\%$
- $traces \leq B \leq 0,01\%$
- $traces \leq S \leq 0,0200\%$
- $traces \leq Te \leq 0,020\%$
- 20               -  $traces \leq Se \leq 0,040\%$
- $traces \leq Pb \leq 0,070\%$
- $traces \leq Nb \leq 0,050\%$
- $traces \leq Ti \leq 0,050\%$

le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration.

- 25               Selon une variante de l'invention, sa teneur en Si est comprise entre 0,10% et 1,0%.

Le rapport  $Mn\%/Si\%$  est de préférence supérieur ou égal à 0,4.

L'invention a également pour objet un procédé de mise en forme à chaud d'une pièce d'acier, caractérisé en ce que :

- 30               - on se procure un lopin d'acier de la composition précédente ;
- on lui applique éventuellement un traitement thermique lui procurant une structure primaire globulaire ;

- on le réchauffe à une température intermédiaire entre sa température de solidus et sa température de liquidus, dans des conditions telles que la fraction solide présente une structure globulaire ;

- on réalise un thixoforgeage dudit lopin pour obtenir ladite pièce ;

5       - et on effectue un refroidissement de ladite pièce.

Ledit thixoforgeage a lieu de préférence dans une zone de températures où la fraction de matière liquide présente dans le lopin est comprise entre 10 et 40%.

Ledit refroidissement est de préférence effectué à l'air calme.

10       Ledit refroidissement peut être effectué à une vitesse inférieure à celle que procurerait un refroidissement naturel à l'air.

L'invention a également pour objet une pièce en acier thixoforgée, caractérisée en ce qu'elle a été fabriquée par le procédé précédent.

15       Comme on l'aura compris, l'invention consiste essentiellement à rajouter à un acier pour construction mécanique de composition habituelle un ou des éléments choisis parmi le phosphore, le bismuth, l'étain, l'arsenic et l'antimoine, voire également du silicium, dans des proportions définies. Ces modifications analytiques rendent l'acier particulièrement bien adapté à la mise en forme de la pièce qu'il constitue par le procédé de thixoforgeage.

20       L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit, donnée en référence à la figure 1 annexée qui montre la proportion de phase liquide dans l'acier en fonction de la température pour un acier de référence et pour un acier selon l'invention et à la figure 2 qui montre la même grandeur pour un autre couple acier de référence / acier selon l'invention.

25       Pour diminuer les sollicitations des outils lors du thixoforgeage et rendre celui-ci plus facile, l'homme du métier dispose d'une première solution qui consiste, comme on l'a dit, à abaisser les températures de travail grâce à un ajout de carbone. Cette solution permet d'abaisser les températures de liquidus et de solidus. Elle présente cependant l'inconvénient d'influer sensiblement sur  
30       les propriétés mécaniques de l'acier.

Les inventeurs ont imaginé qu'un effet bénéfique sur les sollicitations pouvait être obtenu par l'ajout d'éléments présentant une forte tendance à la ségrégation aux joints de grains. Cette forte ségrégation n'est habituellement pas recherchée. En effet, la fusion de telles zones ségrégées à une température

plus basse que le solidus, généralement appelée température de brûlure, est néfaste aux opérations de formage à chaud classiques : laminage et forgeage.

Pour une température de forgeage ou de laminage donnée, inférieure à la température de solidus pour la matrice du métal à déformer, la présence de zones liquides dues à des éléments ségrégeants à bas points de fusion, même avec de très faibles volumes (quelques %), aux joints de grains solides, vont conduire à la désagrégation de la matière mise en forme : c'est la partie solide qui pilote les mécanismes de déformation pour ces procédés de mise en forme, et les efforts nécessaires à la mise en forme conduisent à des ruptures de matière (totales ou partielles) néfastes à la réalisation du produit et à ses propriétés. Dans le cas où la phase liquide est supérieure à 10%, ce qui est le cas dans le thixoforgeage, le matériau est biphasé, ce qui entraîne un comportement très différent lors de la déformation : les particules solides sont incluses dans du liquide et s'il existe des contacts (appelés ponts) entre les particules solides, les efforts très faibles nécessaires à leurs ruptures ne sont pas des causes de ruine du matériau.

Dans le cas du thixoforgeage où la température de brûlure est largement dépassée, la fusion des zones ségréguées crée des poches liquides qui favorisent et accélèrent la formation de phase liquide au sein de l'acier. On a donc intérêt à la favoriser.

On peut ainsi obtenir la quantité de phase liquide nécessaire au bon déroulement du thixoforgeage à une température inférieure à celle habituellement nécessaire lorsqu'on ne procède pas à l'ajout d'au moins un des éléments phosphore, bismuth, étain, arsenic ou antimoine lorsque la somme des teneurs en ces éléments est d'au moins 0,050%.

La somme des éléments phosphore, bismuth, étain, arsenic et antimoine ne doit pas dépasser 0,200% pour éviter les problèmes précités lors du laminage à chaud ou du forgeage permettant d'obtenir le lopin destiné à subir le thixoforgeage.

Bien entendu, en cas d'addition d'arsenic lors de l'élaboration du métal liquide, toutes les précautions nécessaires doivent être prises pour que les vapeurs toxiques dégagées soient captées de manière à ne pas intoxiquer le personnel de l'aciérie. Dans les faits, la présence d'arsenic résulte le plus souvent de l'addition de cuivre ou d'étain, que l'arsenic accompagne généralement à titre d'impureté. Comme l'arsenic est un élément très fortement ségrégeant, il est nécessaire de le prendre en compte pour s'assurer qu'en

conjugaison avec les autres éléments ségrégeants, il ne conduise pas aux effets néfastes à la transformation à chaud qui ont été cités.

La teneur en carbone des aciers selon l'invention peut varier entre 0,35% et 1,2%. A cette condition, on peut obtenir des structures métallurgiques, des propriétés mécaniques et des propriétés d'usage désirables pour des pièces d'acier thixoforgées utilisables en construction mécanique. La teneur en carbone doit être choisie en fonction de l'utilisation envisagée.

La teneur en silicium des aciers de l'invention peut varier typiquement entre 0,10 et 1,0%, mais peut aller jusqu'à 3,0% si on recherche un effet particulièrement accentué de l'addition d'éléments ségrégeants et si le coût de l'addition massive de silicium ne paraît pas rédhibitoire au fabricant. Comme le carbone, le silicium permet d'abaisser les températures de solidus et de liquidus et d'élargir l'intervalle de solidification. Il a aussi un effet synergétique sur la ségrégation des autres éléments. Il permet également d'améliorer la fluidité du métal.

La teneur en manganèse peut être comprise entre 0,10 et 2,0%. Elle doit être ajustée en fonction des propriétés mécaniques requises, en liaison avec les teneurs en carbone et silicium. Elle influe relativement peu sur les températures de liquidus et de solidus. Mais, si la fluidité est élevée à cause d'une forte teneur en silicium (par exemple 1% ou davantage), une teneur en manganèse trop faible procure au métal des propriétés mécaniques insuffisantes au cours du refroidissement lors de la coulée continue, d'où un risque d'apparition de fissures. De telles fissures peuvent également apparaître, pour les mêmes raisons, lors du refroidissement suivant le thixoforgeage, d'autant plus que les fortes variations d'épaisseur de la pièce conduisent à des écarts notables sur les vitesses de refroidissement locales. On crée ainsi des contraintes susceptibles de favoriser l'apparition de fissures si les propriétés mécaniques de l'acier sont insuffisantes. Pour ces raisons, il est préférable que le rapport  $Mn\%/Si\%$  soit supérieur ou égal à 0,4.

La teneur en chrome peut être comprise entre des traces et 4,5%.

La teneur en molybdène peut être comprise entre des traces et 2,0%.

La teneur en nickel peut être comprise entre des traces et 4,5%.

Le réglage des teneurs en chrome, molybdène et nickel permet d'assurer les propriétés mécaniques des pièces réalisées : résistance à la rupture, limite d'élasticité et résilience.

La teneur en vanadium est comprise entre des traces et 0,5%.

Pour certaines applications où la résilience n'est pas importante, cet élément permet d'obtenir des aciers à très hautes caractéristiques mécaniques pouvant se substituer à des aciers riches en chrome et/ou molybdène et/ou nickel, plus coûteux.

5 La teneur en cuivre peut être comprise entre des traces et 3,5%. Cet élément permet d'augmenter les caractéristiques mécaniques, d'améliorer la tenue à la corrosion et de baisser la température de solidus. Il faut noter que si le cuivre est présent en quantités élevées (0,5% et davantage), il faut que le nickel et/ou le silicium soient présents en quantités suffisantes pour éviter des  
10 problèmes au laminage à chaud ou au forgeage. On considère que si  $\text{Cu}\% \geq 0,5\%$ , il faut que  $\text{Cu}\% \leq \text{Ni}\% + 0,6 \text{ Si}\%$ .

En ce qui concerne les éléments ségrégeants dont la présence est typique de l'invention, la somme des teneurs en phosphore, bismuth, étain, arsenic et antimoine doit être d'au moins 0,050% et ne doit pas dépasser  
15 0,200%. Ces éléments peuvent être présents seuls ou en combinaison. S'ils sont seuls (c'est à dire que les autres éléments de la liste ne sont présents qu'à l'état de traces), il doit donc y avoir au moins 0,050% de phosphore, ou 0,050% de bismuth, ou 0,050% d'étain, ou 0,050% d'arsenic ou 0,050% d'antimoine.

Les teneurs en aluminium et calcium, éléments désoxydants, sont  
20 comprises entre des traces et respectivement 0,060% pour l'aluminium, 0,0050% pour le calcium.

Le bore, élément trempant, a sa teneur comprise entre des traces et 0,010%.

La teneur en soufre est comprise entre des traces et 0,200%. Une  
25 teneur élevée favorise l'usinabilité du métal, en particulier si on lui adjoint des éléments tels que le tellure (jusqu'à 0,020%), le sélénium (jusqu'à 0,040%) et le plomb (jusqu'à 0,070%). Ces éléments d'usinabilité n'ont que peu d'influence sur les températures de solidus et liquidus. Lorsque du soufre est ajouté en quantités notables, il est bon d'avoir un rapport  $\text{Mn}\%/\text{S}\%$  d'au moins 4 pour que  
30 le laminage à chaud s'effectue sans formation de défauts.

Le niobium et le titane, lorsqu'ils sont ajoutés, permettent de maîtriser la taille des grains. Leurs teneurs maximales admissibles sont 0,050%.

Des exemples de compositions d'acier selon l'invention, et d'aciers de référence utilisables avec profit pour fabriquer des pièces thixoforgées sont  
35 donnés dans le tableau 1, conjointement avec les caractéristiques mécaniques  $R_e$  (limite élastique) et  $R_m$  (résistance à la traction) obtenues sur les pièces

thixoforgées après refroidissement à l'air calme. Les pourcentages sont pondéraux et exprimés en  $10^{-3}\%$ , Re et Rm sont exprimées en MPa.

5      Tableau 1 : Compositions d'échantillons d'aciers selon l'invention et d'aciers de référence (en  $10^{-3}\%$ ) et leurs caractéristiques mécaniques (en MPa).

N°	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	V	Cu	S	Al	P	Re	Rm
1	502	1391	200	164	<5	152	<5	194	315	<0,3	15	423	773
2	493	1451	990	156	<5	152	2	201	302	1	26	510	852
3	505	1420	256	166	<5	159	<5	196	287	3	55	455	856
4	526	1478	255	156	<5	150	<5	200	315	2	97	482	866
5	508	1425	220	164	<5	155	121	203	306	7	58	583	877
6	500	1209	279	153	<5	155	7	204	83	21	99	484	871
7	508	1178	202	108	<5	158	6	204	70	25	187	528	885
8	496	1454	945	156	<5	158	<5	202	291	<0,3	55	498	877

Dans ces exemples, les aciers de l'invention (n° 3 à 8) ont subi un ajout de phosphore portant la teneur en cet élément entre 0,050 et 0,200%. Par rapport aux deux aciers de référence à basse teneur en phosphore (0,015 et 0,026%), on ne note pas de détérioration des propriétés mécaniques.

Le tableau 2 montre la composition d'un acier de référence et d'un acier selon l'invention qui lui est comparable, à ceci près qu'on y a introduit du phosphore et un peu plus de silicium.

15      Tableau 2 : Compositions d'échantillons d'un acier de référence et d'un acier selon l'invention (en  $10^{-3}\%$ )

	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Cu	V	P	S	Al
référence	392	1383	523	193	29	87	118	88	8	56	25
invention	396	1405	620	158	21	85	151	89	96	85	2

La figure 1 représente le rapport phase liquide/phase solide dans ces aciers en fonction de la température. Pour l'acier de référence, la température de solidus mesurée est de 1415°C alors qu'elle est de 1375°C pour l'acier de l'invention. Les températures de liquidus mesurées sont respectivement de 1525 et 1520°C. L'addition de phosphore et de silicium a donc joué notablement sur la température de solidus uniquement, mais cela a suffi pour élargir



sensiblement (de 35°C) l'intervalle de solidification. Il faut également remarquer que l'intervalle de température dans lequel la fraction liquide de l'acier est comprise entre 10 et 40% et qui est habituellement considéré comme le plus favorable au thixoforgeage, est :

- 5                   - pour l'acier de référence, de 1437 à 1468°C ;
- pour l'acier de l'invention, de 1427 à 1463°C.

On observe donc un abaissement de l'ordre de 5 à 10°C de cet intervalle, et un élargissement de 5°C de son ampleur, toutes choses qui vont dans le sens d'une moindre sollicitation des outils lors du thixoforgeage, et d'une  
10 plus grande facilité d'obtention de conditions favorables au bon déroulement de l'opération. Cet effet serait accentué si on augmentait la quantité de phosphore ajoutée, ou si on ajoutait également d'autres éléments ségrégeants dans les limites qui ont été dites.

Le tableau 3 montre la composition d'un acier de référence et d'un  
15 acier selon l'invention qui lui est comparable, à ceci près qu'on y a introduit du phosphore, du silicium, du manganèse (pour compenser l'ajout de silicium, de manière à conserver un rapport Mn%/Si% convenable) et du soufre.

20                   Tableau 3 : Compositions d'échantillons d'un acier de référence et d'un acier selon l'invention (en 10<sup>-3</sup>%)

	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Cu	P	S	Al
référence	0,377	0,825	0,19	0,167	0,039	0,113	0,143	0,007	0,009	0,022
invention	0,396	1,405	0,62	0,158	0,021	0,085	0,151	0,095	0,085	0,002

La figure 2 représente le rapport phase liquide / phase solide dans ces aciers en fonction de la température. Pour l'acier de référence, la  
25 température de solidus mesurée est de 1430°C, alors qu'elle est de 1378°C pour l'acier de l'invention. Les températures de liquidus mesurées sont respectivement de 1528°C et 1521°C. L'intervalle de solidification a donc été élargi de 45°C. L'intervalle de température dans lequel la fraction solide de l'acier est comprise entre 10 et 40% est :

- 30                   - pour l'acier de référence, de 1470 à 1494°C,
- pour l'acier de l'invention, de 1428 à 1464°C.

On observe donc un abaissement de l'ordre de 30 à 42°C de cet intervalle et une augmentation de 12°C de son ampleur.

A propos de la détermination des températures de solidus et de liquidus à prendre en compte pour la mise en œuvre de l'invention, il faut remarquer qu'elles peuvent ne pas toujours coïncider avec celles que l'on calcule à partir de la composition de l'acier à l'aide des formules disponibles classiquement dans la littérature. En effet, ces formules sont valables dans le cas d'un passage de l'acier liquide à l'acier solide lors d'une solidification et d'un refroidissement de l'acier et pour des vitesses de refroidissement de quelques degrés par minutes.

Dans le cas de mesures effectuées en vue d'une application au thixoforgeage les mesures doivent être effectuées en partant de l'acier solide et en allant vers l'acier liquide, c'est à dire dans le cas d'un réchauffage puis d'une fusion de l'acier. Les essais sont également réalisés avec des conditions d'augmentation de la température de l'ordre de plusieurs dizaines de degrés par minute, correspondant aux conditions de chauffage préalables à l'opération de thixoforgeage.

Classiquement, la réalisation de l'opération de thixoforgeage sur les aciers de l'invention doit être précédée d'un traitement thermique de globulisation de la structure primaire du lopin si une structure globulaire n'est pas déjà présente et si l'expérience montre qu'elle ne peut être obtenue lors du réchauffage du lopin en vue de son thixoforgeage. L'obtention d'une telle structure globulaire avant thixoforgeage pour un acier de composition et d'histoire données peut être vérifiée si on refroidit brutalement le lopin avant d'avoir procédé à son thixoforgeage. On observe alors la structure telle qu'elle était avant le refroidissement.

En ce qui concerne l'opération de refroidissement de la pièce suivant son thixoforgeage, ce refroidissement doit être effectué à l'air calme, et non de manière forcée, dans le cas, fréquent pour ce genre de pièces, où la pièce présente des variations de section très importantes, par exemple lorsque des parois fines (1 à 2mm) sont raccordées à des zones épaisses (5 à 10mm ou davantage). L'utilisation d'air soufflé est, dans ce cas, à proscrire car on risque alors d'introduire des contraintes résiduelles très importantes entre parois fines et zones épaisses. Il en résulterait des défauts de surface dégradant les propriétés de la pièce thixoforgée.

Dans certains cas, il peut être nécessaire de ralentir le refroidissement des pièces pour favoriser l'homogénéité structurale des différentes parties de la pièce. On peut, à cet effet, faire passer la pièce dans un tunnel régulé en température dans l'intervalle 200-700°C par exemple.

Mais si la pièce thixoforgée ne présente pas de telles variations de section importantes, il peut être tolérable de réaliser un refroidissement à l'air soufflé. Un tel refroidissement peut être favorable à l'obtention d'une structure métallurgique homogène dans la section de la pièce et de bonnes

5 caractéristiques mécaniques.

**REVENDEICATIONS**

1. Acier pour construction mécanique, caractérisé en ce que sa composition est, en pourcentages pondéraux :

- 5                   - 0,35%  $\leq$  C  $\leq$  1,2%  
                      - 0,10%  $\leq$  Mn  $\leq$  2,0%  
                      - 0,10%  $\leq$  Si  $\leq$  3,0%  
                      - traces  $\leq$  Cr  $\leq$  4,5%  
                      - traces  $\leq$  Mo  $\leq$  2,0%  
 10                  - traces  $\leq$  Ni  $\leq$  4,5%  
                      - traces  $\leq$  V  $\leq$  0,5%  
                      - traces  $\leq$  Cu  $\leq$  3,5% avec Cu  $\leq$  Ni% + 0,6 Si% si Cu  $\geq$  0,5%  
                      - traces  $\leq$  P  $\leq$  0,200, traces  $\leq$  Bi  $\leq$  0,200%, traces  $\leq$  Sn  $\leq$  0,150%,  
                      traces  $\leq$  As  $\leq$  0,100%, traces  $\leq$  Sb  $\leq$  0,150%, avec 0,050%  $\leq$  P% + Bi % + Sn%  
 15                  + As% + Sb%  $\leq$  0,200%,  
                      - traces  $\leq$  Al  $\leq$  0,060%  
                      - traces  $\leq$  Ca  $\leq$  0,050%  
                      - traces  $\leq$  B  $\leq$  0,01%  
                      - traces  $\leq$  S  $\leq$  0,200%  
 20                  - traces  $\leq$  Te  $\leq$  0,020%  
                      - traces  $\leq$  Se  $\leq$  0,040%  
                      - traces  $\leq$  Pb  $\leq$  0,070%  
                      - traces  $\leq$  Nb  $\leq$  0,050%  
                      - traces  $\leq$  Ti  $\leq$  0,050%

25                  le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration.

2. Acier selon la revendication 1, caractérisé en ce que sa teneur en Si est comprise entre 0,10% et 1,0%.

3. Acier selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le rapport Mn%/Si% est supérieur ou égal à 0,4.

30                  4. Procédé de mise en forme à chaud d'une pièce d'acier, caractérisé en ce que :

                     - on se procure un lopin d'acier de la composition selon l'une des revendications 1 à 3 ;

- on lui applique éventuellement un traitement thermique lui procurant une structure primaire globulaire ;

5       - on le réchauffe à une température intermédiaire entre sa température de solidus et sa température de liquidus, dans des conditions telles que la fraction solide présente une structure globulaire ;

- on réalise un thixoforgeage dudit lopin pour obtenir ladite pièce ;

- et on effectue un refroidissement de ladite pièce.

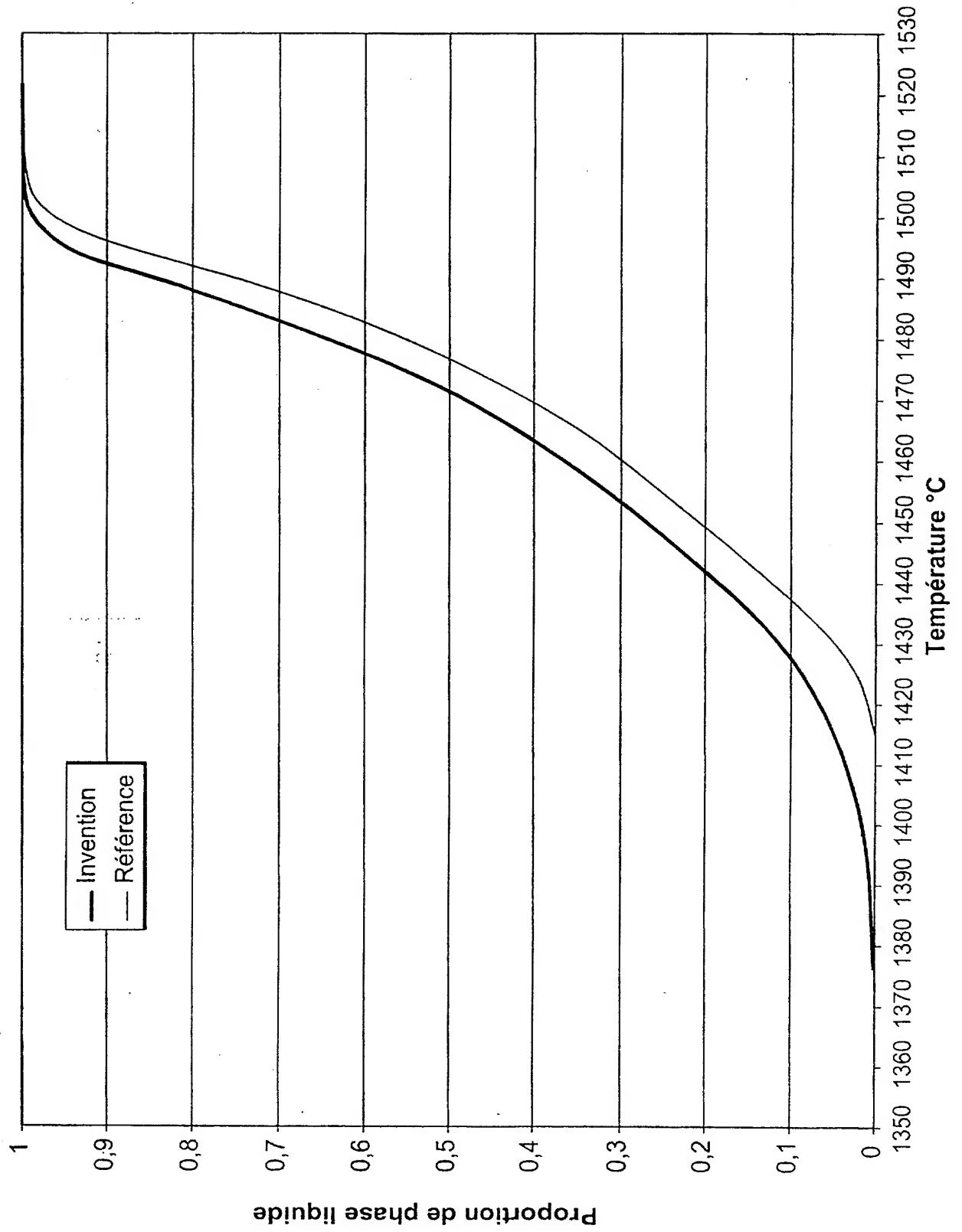
10       5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que ledit thixoforgeage a lieu dans une zone de températures où la fraction de matière liquide présente dans le lopin est comprise entre 10 et 40%.

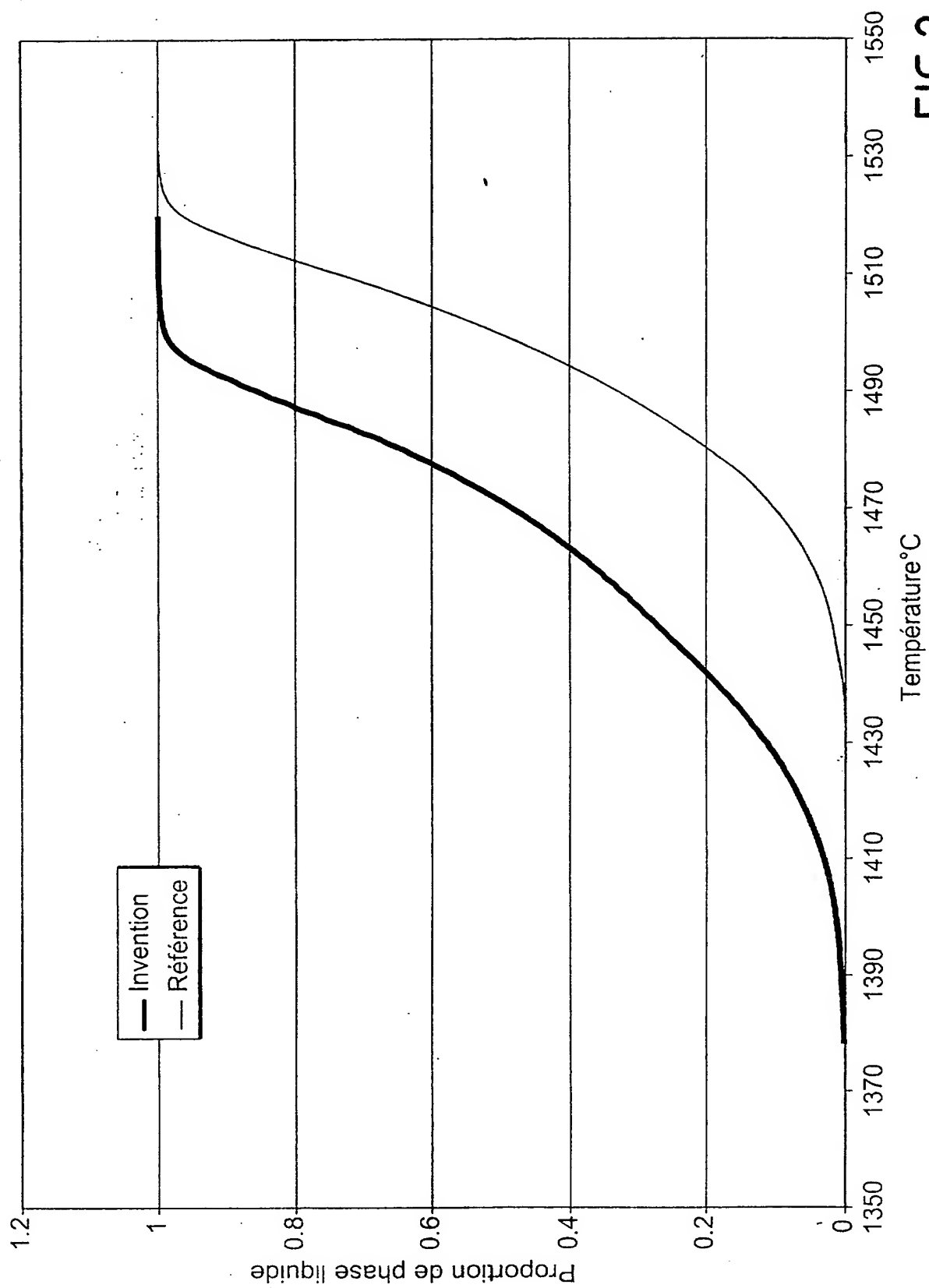
6. Procédé selon la revendication 4 ou 5, caractérisé en ce que ledit refroidissement est effectué à l'air calme.

15       7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'on effectue ledit refroidissement à une vitesse inférieure à celle que procurerait un refroidissement naturel à l'air.

8. Pièce en acier thixoforgée, caractérisée en ce qu'elle a été fabriquée par le procédé selon l'une des revendications 4 à 7.

1/2

FIG.1

**FIG.2**

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

**DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S)** Page N° 1/1

(À fournir dans le cas où les demandeurs et les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)



Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 270601

<b>Vos références pour ce dossier (facultatif)</b>		BFF 02/0325	
<b>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL</b>		0215380	
<b>TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)</b>			
Acier pour construction mécanique, procédé de mise en forme à chaud d'une pièce de cet acier, et pièce ainsi obtenue.			
<b>LE(S) DEMANDEUR(S) :</b>			
ASCOMETAL			
<b>DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :</b>			
<b>1</b> Nom		ROBELET	
Prénoms		Marc	
Adresse	Rue	19 rue d'Auvergne	
	Code postal et ville	57190 FLORANGE FRANCE	
Société d'appartenance (facultatif)			
<b>2</b> Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
<b>3</b> Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.			
<b>DATE ET SIGNATURE(S)</b>		Paris, le 5 décembre 2002	
<b>DU (DES) DEMANDEUR(S)</b>			
<b>OU DU MANDATAIRE</b>			
<b>(Nom et qualité du signataire)</b>		C. JACOBSON n° 92.1119	